

УДК 664.66.016

DOI: 10.15587/2312-8372.2018.129520

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ПОРИСТОСТІ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ ЗА АНАЛІЗОМ ЦИФРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ

Петруша О. О., Дашинська О. А., Шуліка А. О.

Хлібобулочні вироби являються невід'ємною складовою частиною харчування, тому вимірювання їх якості формує умови більш стабільної діяльності підприємства. Одним із таких показників є пористість, яка визначає структуру виробу, об'єм, рівень засвоюваності. Розмір пор хліба залежить від сорту використаного борошна чи їх суміші, рівня належної практики проведення технологічних процесів. Об'єктом дослідження є метод вимірювання пористості хлібобулочних виробів на базі аналізу цифрових зображень зрізів хлібобулочної продукції.

Використання методу відцифровування зрізів продукції із наступним аналізом отриманих зображень дає можливість швидко проводити вимірювання пористості. Порядок визначення пористості полягає у співставленні площ пікселів зображення хліба. Запропонований метод не вимагає додаткових витрат і може бути реалізований з використанням офісного сканеру. Поруч з цим перспективним є використання даного методу для вимірювання пористості дрібноштучних булочних виробів, для яких пористість теж є критерієм якості продукції.

В ході проведених досліджень були експериментально встановлені поправочні коефіцієнти для групи виробів, які виготовляються із різних видів борошна:

1,71 – для виробів із борошна вищого татунку;

1,44 – для виробів із пшеничного борошна першого татунку;

0,61 – із суміші житньо-пшеничного борошна.

Визначені коефіцієнти дають змогу перейти від вимірної величини пористості до звичної – тієї, яка зазначена у нормативній документації.

Проведене порівняння точності стандартного методу вимірювання пористості із запропонованим методом за аналізом цифрових зображень зрізів вказує на можливість використання останнього у щоденній виробничій діяльності. Запропонований метод також може бути вжитий для вимірювання пористості дрібноштучних хлібобулочних та кондитерських борошняних виробів, для яких у зв'язку із відсутністю дієвого методу показник пористості не нормується, хоча і характеризує якість продукції.

Ключові слова: пористість хлібобулочних виробів, цифрове зображення, прикладна програма ImageJ, точність аналізу.

1. Вступ

Стрімкий розвиток науки та техніки у світі розширюють можливості всіх сфер господарювання, в тому числі і харчову промисловість, яка потребує використання інноваційних технологій, покращення умов праці та виробництва, урізноманітнення асортименту та впровадження досконалих методик визначення якості продукції.

На сьогоднішній день задоволення потреб населення у високоякісних продуктах харчування є однією з основних соціально-економічних проблем.

Хлібопекарська промисловість – одна з провідних і найбільш трудомістких галузей харчової промисловості, адже виконує завдання з вироблення продукції першої необхідності.

Розвиток хлібобулочної індустрії здійснюється за різними напрямками. Свій внесок вносять виробники та постачальники інгредієнтів, обладнання, упаковки [1]. Фахівці різних галузей вдосконалюють технології, щоб в підсумку споживач залишився задоволений якістю хлібної продукції. Хліб користується великим попитом у людей, а тому потребує ретельного контролю.

Пористість – один із основних показників, який визначає якість хлібобулочних виробів і характеризує їх структуру, об'єм та рівень засвоюваності.

Стандартизованою методикою для визначення пористості хлібобулочних харчових продуктів являється спосіб із використанням приладу Журавльова.

Однак використання стандартного методу для дрібноштучних хлібобулочних виробів зумовлене відсутністю можливості отримання виїмки із булочок. При цьому показник пористості не менш важливий для даної групи виробів, оскільки характеризує якість використовуваної сировини, належної виробничої практики введення технологічних процесів.

Перевагою цього способу є підвищена точність розрахунку загальної пористості, а недоліком – складність виготовлення зразків приладу для проведення випробувань.

Проблема якості хліба і кондитерських виробів тісно пов'язана з проблемою контролю. Тому розроблення методу визначення пористості є актуальним, адже хлібобулочні вироби являються невід'ємною частиною раціону будь-якої людини. Асортимент такої продукції харчування стрімко зростає, а тому потребує ретельного контролю у зв'язку з вибагливістю споживачів.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є метод вимірювання пористості хлібобулочних виробів на базі аналізу цифрових зображень зрізів хлібобулочної продукції.

Продукти, що мають пористу структуру, відносяться до великої групи виробів, які виготовляються установами харчової промисловості та закладами громадського харчування. До неї відносяться шоколад, ковбасна продукція, кондитерські вироби, що представлені кексами, печивом, зефіром, рулетами, халвою, пряниками та інші. Пориста структура, звичайно, найбільш притаманна виробам хлібопекарської галузі і визначає їх якість.

Пористість виробу – це частка обсягу пор в загальному об’ємі продукту, що зазвичай виражається:

$$P = V_{\text{пор}} / V, \quad (1)$$

де P – пористість, %; $V_{\text{пор}}$ – об’єм пор, см^3 ; V – об’єм непористого матеріалу разом із порами, см^3 .

Досить часто структурні характеристики, а саме розмір пор, розподіл їх за розмірами, об’єм пор, питома поверхня, об’єднують терміном «текстура пористого тіла». Пористі тіла широко поширені в природі та мають дуже важливе значення для оцінки якості певних харчових продуктів і особливо хлібобулочних й кондитерських виробів.

Однак не для всіх об’єктів харчової промисловості і лише для окремих груп наявні об’єктивні, достовірні, відтворювальні і точні методи вимірювання показника пористості. Існуючі методи мають високу тривалість, вимагають додаткових реактивів та мають ряд інших недоліків.

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є розроблення методики визначення структурної характеристики хліба – пористості, як показника якості основного продукту харчування населення. Для досягнення поставленої необхідно реалізувати наступні задачі:

1. Провести апробацію методики визначення пористості хлібобулочних виробів із нормованою величиною пористості за аналізом цифрового зображення.
2. Встановити поправочні коефіцієнти визначення пористості запропонованою методикою.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Найпростішим методом оцінки пористості є органолептичний [1, 2]. При цьому особливу увагу звертають на розмір пор розрізу хлібобулочного виробу, а також встановлюють рівномірність розподілу пор різної величини по перетину виробу. Пориста структура тіла – це гетерогенна система твердої фази і розподіленої в ній газової фази, здатність рівномірно розподілитись газу, що утворюється у результаті бродіння. Ця структура залежить від еластичних характеристик самого тіста, тому при оцінці пористості слід проаналізувати товщину стінок пор [3]. Значною перевагою такого способу досліджень є його оперативність, однак він має і недоліки – суб’єктивність такого визначення, оскільки безпосередньо залежить від здібностей дослідника.

Українською стандартизованою методикою для визначення пористості хлібобулочних харчових продуктів являється спосіб із використанням приладу Журавльова [4]. Ця методика передбачає підготовку виробу, отримання виїмки з м’якушки хліба з наступним зважуванням та проведенням відповідних розрахунків. Слід відмітити, що такі розрахунки використовують стандартний об’єм виїмки, рівний 27 см^3 . Причому дійсний об’єм металевого циліндру, за

допомогою якого отримують виїмку, може мати відхилення від такого чітко встановленого значення. Обмежене використання стандартного методу для дрібноштучних хлібобулочних виробів зумовлене відсутністю можливості отримання виїмки із булочок.

На сьогодні відомо кілька способів визначення пористості хлібобулочних виробів. Одним із них є методика [5]. Цей спосіб визначення включає наступний порядок роботи: у досліджуваному зразку робиться виїмка, об'єм пор у якій визначається шляхом просочування її інертною рідиною (гасом чи ксилітом). Після чого її зважують на аналітичних терезах і визначають масу інертної рідини. Далі проводиться розрахунок пористості з використанням значень маси інертної рідини, густини інертної рідини та об'єму виїмки. Перевагою цього способу є підвищена точність розрахунку загальної пористості, а недоліком – складність виготовлення зразків приладу для проведення випробувань.

В роботах [6–10] проводилися дослідження із використання цифрової техніки для аналізу зображення зрізів дослідних зразків різноманітної продукції. Для широкого використання такого методу необхідно встановити, яким чином можна перейти від встановленої величини до пористості у відсотках, що зазначена у стандартах.

5. Методи досліджень

Сучасні технології стали невід'ємною частиною життя. Використання комп'ютерів, мобільних телефонів та інших гаджетів для роботи, спілкування, розваг стало незамінним і навіть буденним. Такі винаходи призначені для полегшення й покращення нашого життя. Спектр їх використання поширюється у різних галузях, включаючи й харчову.

Розроблений спосіб передбачає отримання власне цифрового зображення пористого зрізу досліджуваного зразку хлібобулочного виробу для якого використовується різноманітне обладнання: веб-камери, цифрові фотоапарати, планшетні сканери. Останній пристрій має важливий ряд переваг, а саме високу якість зображення, при невисокій вартості, автоматичне налаштування параметрів та калібрування характеристик отримуваних зображень, можливість сканування зображення з високим розширенням зображення [4].

Методика повинна передбачати чітко визначений порядок дій. Для визначення пористості харчових продуктів розроблено уніфіковану блок-схему, зображену на рис. 1, та складено методику для внутрішнього користування.

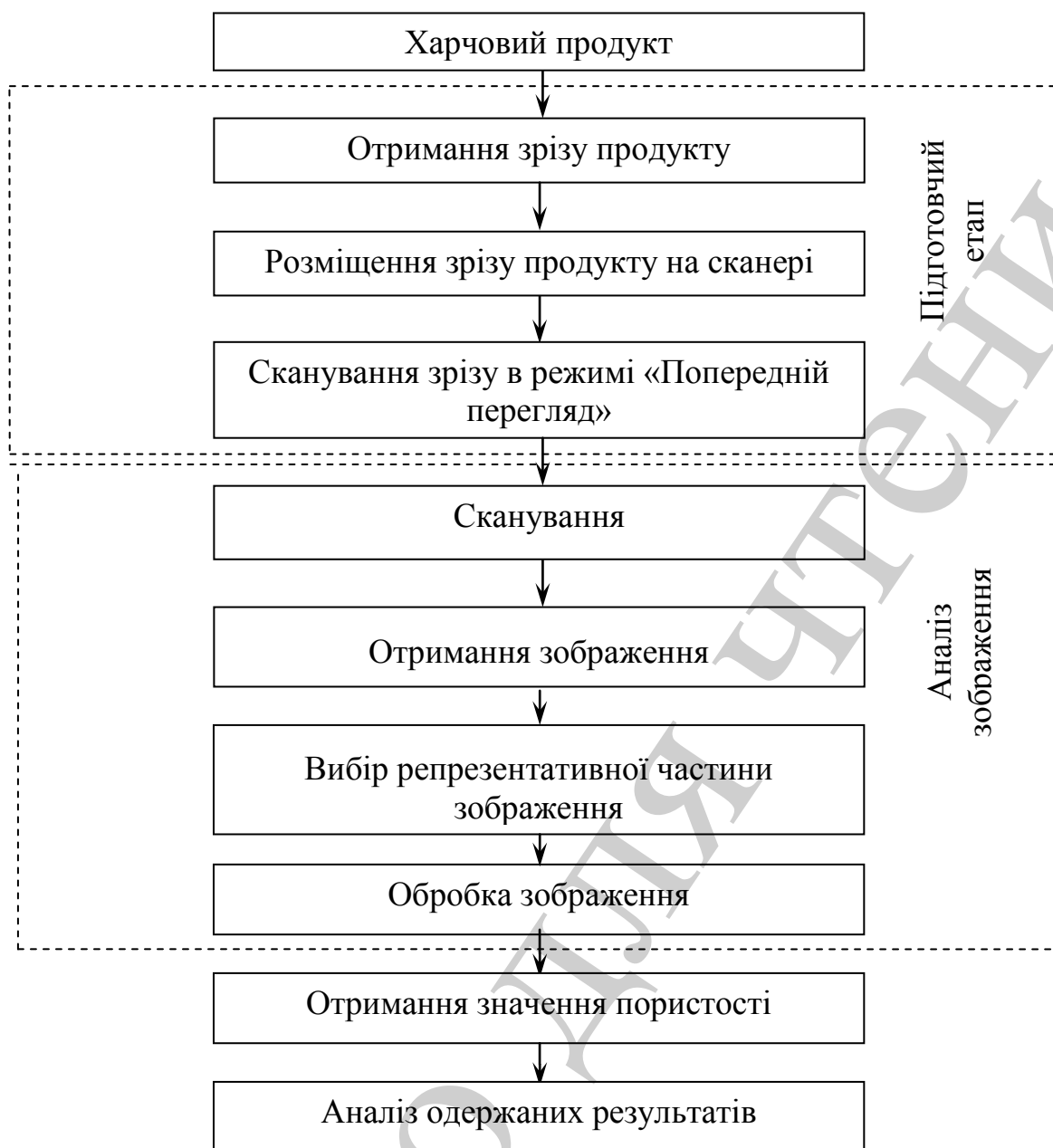


Рис. 1. Схема реалізації методики визначення пористості харчових продуктів з використанням системи типу «Електронне око»

Метод реалізується на підставі отримання цифрового зображення скануванням зрізу досліджуваного об'єкту. Спосіб передбачає сканування зрізу м'якушки хліба на сканері з оптичним розширенням 300 dpi (рис. 2). Отримане таким способом цифрове зображення вводилося у спеціальну програму ImageJ, яка написана на мові програмування Java, що розроблена науковцями National Institutes of Health (USA) для широкого загалу науковців [3].



Рис. 2. Етапи визначення за скануванням

Програма дозволяє провести автоматичне опрацювання фотографій, яка спочатку проводить корекцію зображення, потім форматує його у відтінки сірого і проводить наступний поділ областей на темні (пори) і світлі (маса непористого матеріалу) (рис. 3).

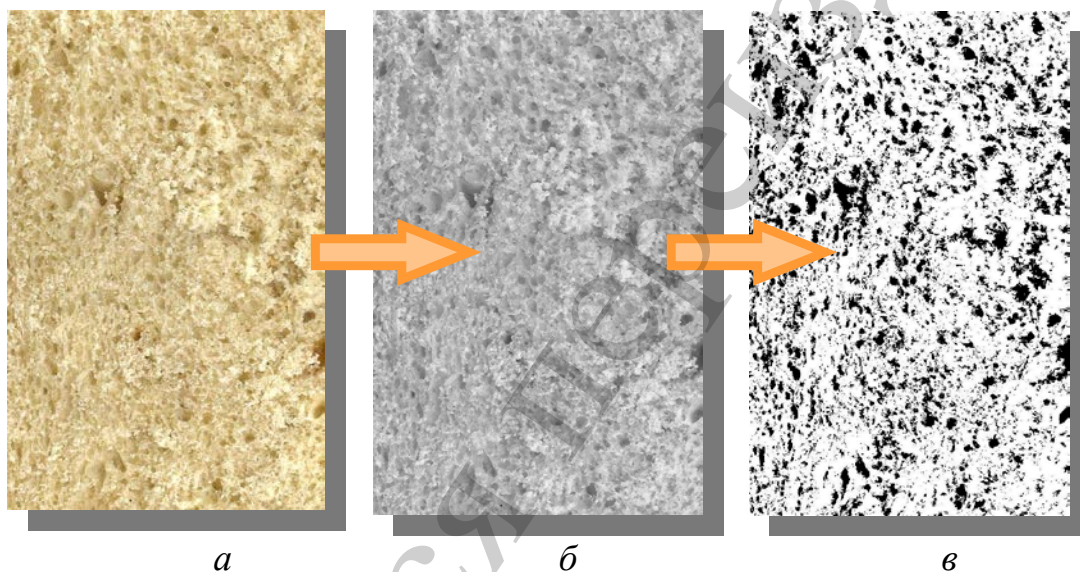


Рис. 3. Стадії підготовки зображення: *а* – сканування; *б* – скидання кольорової інформації; *в* – трешхолдінг (відсіювання)

Далі обробка зводиться до підрахунку площі еліпсів, еквівалентних за цим показником кожній порі [6]. При відомому розширенні сканування можна легко перейти від розмірів в пікселях до традиційних одиниць виміру розмірів пор у відсотках.

Запропонована методика дозволяє провести дослідження більш об'єктивно і з більшою точністю, що особливо важливо при співставленні результатів досліджуваних об'єктів. У випадку порівняння розроблюваної методики із стандартною методикою з використанням приладу Журавльова, слід відмітити значно меншу тривалість інноваційного способу визначення пористості, можливість збереження цифрових зображень. Особливою перевагою методики визначення пористості з використанням сенсорної типу «Електронне око» є можливість його використання для дрібних виробів, з яких не вдається робити виїмку для стандартного методу.

6. Результати дослідження

Для апробації методики були проведені дослідження із визначення пористості стандартним методом з використанням приладу Журавльова та запропонованим методом із застосуванням можливості використання цифрової техніки.

Асортимент хлібобулочних виробів визначається в першу чергу видом використовуваного борошна для їх виробництва. Для досліджень був обраний хліб із пшеничного борошна вищого гатунку – батон, хліб з пшеничного борошна першого гатунку і хліб із суміші житньо-пшеничного борошна. Під час проведення експерименту виконували десятикратну повторюваність досліджень. У нижче наведених даних представлені усереднені результати досліджень.

Поруч із інструментальним визначенням пористості виробів проводили сенсорний аналіз м'якушки хліба. Дана характеристика наведена у табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика органолептичних показників хлібобулочних виробів

Показник	Характеристика показнику		
	Батон	Хліб пшеничний	Хліб український
Стан м'якушки	пропечена, еластична, волога на дотик, без слідів непромісу	пропечена, еластична, ледь волога на дотик, без слідів непромісу	пропечена, еластична, без слідів непромісу
Структура пористості	пори дрібні і середні, розподілені рівномірно	пори дрібні і середні, тонкостінні, розподілені досить рівномірно	пори дрібні, тонкостінні, розподілені рівномірно
Колір м'якушки	світлий	світлий	світло-коричневий, без підгорілості
Розжовуваність м'якушки	досить ніжна, добре розжовується	досить ніжна, добре розжовується	досить ніжна, злегка сухувата, добре розжовується

За приведеними даними у табл. 1 видно, що всі досліджувані зразки відповідали вимогам нормативних документів. Характеристика стану м'якушки свідчить про правильність введення технологічного процесу і оцінена як відповідна до технічних вимог стандарту.

В процесі апробації методики важливим питанням стало визначення коефіцієнту перерахунку для виробів відповідних видів продукції. Сутність цього поправочного коефіцієнту заключається у тому, що при скануванні зрізу виробу, отримуємо площу пор без врахування її геометричних особливостей (рис. 4). В результаті обробки враховується середній діаметр пори, що призводить до подальшого змінення величини пористості [10, 11].

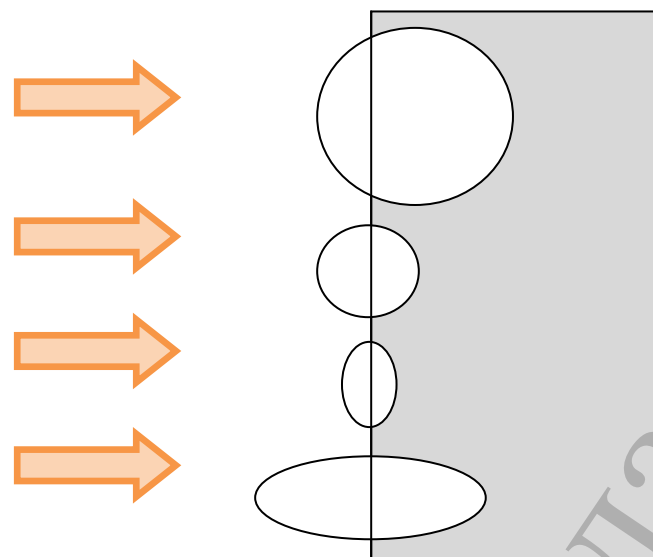


Рис. 4. Схема співставлення сканованої округлості пори до її геометричних характеристик

У дослідженнях пористості з використанням приладу Журавльова проводили визначення величини пористості за об'ємом виїмки 27 см^3 і паралельно вимірювали об'єм виїмки (визначенням параметрів виїмки штангенциркулем). А також отримували цифрове зображення зрізу хліба планшетним сканером і цифровим фотоапаратом.

Середні значення результатів визначення показники пористості для батону наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Дані досліджень пористості батону

№ до сл.	Маса виїмки, г	Пористість за пр. Журавльова, %	Пористість за пр. Журавльова за станд. V виїмки, %	Пористість за скануванням, %	k1, од.	Розрахована пористість, %	Пористість за фотографією, %	k2, од.	Розрахована пористість, %
1	9,2253	74,4	73,9	44,5	1,67	76,1	54,5	1,36	78,5
2	9,1110	74,1	74,2	43,3	1,76	74,0	48,5	1,53	69,8
3	9,6061	73,4	72,8	43,4	1,69	74,2	53,2	1,40	74,5
4	8,6240	76,4	75,6	42,5	1,73	72,7	50,2	1,48	72,3

Проводили відцифровування того зрізу досліджуваного зразку, з частини виробу якого потім отримували виїмку приладом Журавльова.

За представленими даними можна зробити висновок, що використання показника стандартного об'єму виїмки є не зовсім коректним оскільки величина відхилення склала від 0,1 % до 0,8 %. Тобто залежно від стану м'якушки, а саме її пружності, відмінність прийнятого стандартного значення об'єму виїмки може спричинити відхилення точності вимірюваних результатів.

Середня значення пористості визначена за приладом Журавльова склало відповідно 74,1 % – для стандартного об'єму виїмки та 74,6 % – для варіанту з вимірюванням об'єму виїмки.

Оброблені цифрові зображення дають занижені значення пористості, як це і передбачалось. У відповідності до цього проводили розрахунок поправочного коефіцієнту k_1 середня величина якого склала – 1,71 для батону.

Знайдена середнє значення пористості для методу з використанням сенсорної системи типу «електронне око» склало 74,3 %. Використання для даної методики цифрового фотоапарату дає дещо вищі значення пористості, при наступному логічному зниженні величини поправочного коефіцієнту. При цьому величина пористості для цього варіанту рівна 73,8 %.

Аналогічний порядок дослідження проводився для виробів: хліба пшеничного та українського, представлених в табл. 3, 4.

Таблиця 3

Дані досліджень пористості хліба пшеничного

№ до сл.	Маса виїмки, г	Пористість за пр. Журавльова, %	Пористість за пр. Журавльова за стандартним V виїмки, %	Пористість за скануванням, %	k_1 , од.	Розрахована пористість, %	Пористість за фотографією, %	k_2 , од.	Розрахована пористість, %
1	12,0685	69,7	65,9	49,5	1,42	70,3	58,9	1,18	69,5
2	10,8400	70,2	69,4	47,5	1,48	70,3	73,9	0,95	70,2
3	9,9061	70,6	72,0	49,7	1,42	70,5	51,4	1,37	70,4
4	12,4556	70,1	64,8	49,3	1,44	71,0	50,3	1,39	69,9
5	10,9169	71,2	69,1	48,3	1,47	71,0	52,3	1,36	71,1
6	12,1524	69,3	65,6	46,8	1,52	71,1	56,1	1,27	71,2

Для хліба пшеничного середнє значення пористості склало 70,2 % – при вимірюванні об'єму виїмки і 67,8 % – при використанні у розрахунках стандартного об'єму виїмки (табл. 3.).

Асортименту хлібобулочної продукції, яка виготовляється із пшеничного борошна першого гатунку, притаманна дрібнопориста структура. При цьому геометрична форма пори більш наближена до сферичної, про що говорить зменшення величини поправочного коефіцієнту до 1,44 од.

Кращу збіжність показали методи визначення пористості хліба пшеничного з використанням приладу Журавльова і запропонованого методу із застосуванням цифрового зображення із значеннями 70,2 % та 70,5 %. Інші методи з варіантом стандартного об'єму виїмки м'якушки і використання цифрового фотоапарату були рівними 67,8 % та 70,6 %.

Таблиця 4

Дані досліджень пористості хліба українського

№ до сл.	Маса виїмки, г	Пористість за пр. Журавльова, %	Пористість за пр. Журавльова за ст. V виїмки, %	Пористість за сканування, %	k1, од.	Розрахована пористість, %	Пористість за фотоапаратом, %	k2, од.	Розрахована пористість, %
1	17,7290	48,4	46,6	89,0	0,54	48,1	36,9	1,31	48,3
2	16,0679	54,2	51,6	94,0	0,58	54,5	36,8	1,47	54,1
3	16,3190	54,3	50,9	95,4	0,57	54,4	39,5	1,37	54,1
4	14,0316	59,8	57,7	93,9	0,64	60,1	40,9	1,46	59,7
5	13,6910	60,6	58,8	93,3	0,65	60,7	43,9	1,38	60,6
6	14,0484	59,6	57,7	87,2	0,68	59,3	45,0	1,32	59,4

Дані експериментального визначення пористості хліба українського, наведені у табл. 4, також підтверджують можливість використання даної методики. Це підтверджується збіжністю результатів – ідентичне значення пористості 56,2 % для методів з використанням приладу Журавльова і із застосуванням сенсорної системи типу «електронне око».

Поправочний коефіцієнт для хліба українського склав менше одиниці – 0,61 од., що зумовлено особливостями виробництва даного виробу, а саме використовуваної сировини суміші житнього-пшеничного борошна.

Для виробів із суміші житньо-пшеничного борошна величина пористості визначення за приладом Журавльова із розрахунком значення за стандартною об'ємом виїмки була дещо заниженою і склала 53,9 %. А ось метод використання цифрового зображення із цифровою фотокамерою дав значно завищені результати – 65,1 %, які не відповідають дійсному значенню пористості виробу, що може бути спричинене особливістю кольору хліба українського. При отриманні цифрового зображення фотоапаратом має значення відстань до досліджуваного об'єкта.

Для узагальнення проведених досліджень був проведений статистичний аналіз отриманих даних. При цьому для кожного масиву експериментів встановлювали наявність грубої похибки [12].

Для оцінки результатів аналізу встановлювали середнє значення результатів паралельних визначень, що характеризуються значенням меж довірчого інтервалу, а також відтворюваністю та правильністю.

Порядок розрахунку точності досліджень проводили у наступному порядку: розрахунку дисперсії, стандартного відхилення середнього результату, величину довірчого інтервалу, довірчу похибку (що розраховується за допомогою t-критерію – критерія Ст'юдента). Далі розраховували точності аналізу – як відношення довірчої помилки до істинного, тобто середнього значення.

Проведені розрахунки із точності аналізу представлені у табл. 5.

У відповідності до отриманих даних слід відмітити, що для хлібобулочних виробів із пшеничного борошна вищого та першого ґатунку найвищу точність (тобто найнижче значення точності аналізу) мала запропонована методика. А для хлібу українського точність вийшла дещо меншою по відношенню до стандартного методу з використанням приладу Журавльова із вимірюванням об'єму виїмки.

Таблиця 5

Дані розрахунку точності аналізу

Методика	Дисперсія S^2 , од.	Стандартне відхилення середнього результату S_x , од.	Довірча похибка, Е, од.	Довірчий інтервал, од.	Точність аналізу, Δ , %
Батон					
Пористість за пр. Журавльова, %	1,69	0,65	2,07	$74,57 \pm 2,07$	2,77
Пористість за пр. Журавльова за ст. V виїмки, %	1,31	0,57	1,82	$74,16 \pm 1,82$	2,46
Розрахована пористість з використанням планшетного сканеру, %	1,12	0,35	0,81	$74,45 \pm 0,81$	1,09
Розрахована пористість з використанням цифрової фотокамери, %	1,29	0,38	0,87	$74,50 \pm 0,87$	1,17
Хліб пшеничний					
Пористість за пр. Журавльова, %	0,46	0,28	0,71	$70,19 \pm 0,71$	1,01
Пористість за пр. Журавльова за ст. V виїмки, %	7,81	1,14	2,93	$67,80 \pm 2,93$	4,32
Розрахована пористість з використанням планшетного сканеру, %	0,36	0,23	0,56	$70,53 \pm 0,56$	0,79
Розрахована пористість з використанням цифрової фотокамери, %	0,54	0,26	0,62	$70,44 \pm 0,62$	0,88
Хліб український					
Пористість за пр. Журавльова, %	22,55	1,94	4,98	$56,15 \pm 4,98$	8,88
Пористість за пр. Журавльова за ст. V виїмки, %	24,08	2,00	5,15	$53,89 \pm 5,15$	9,56
Розрахована пористість з використанням планшетного сканеру, %	23,40	1,97	5,08	$56,17 \pm 5,08$	9,00
Розрахована пористість з використанням цифрової фотокамери, %	1,08	0,37	0,87	$62,51 \pm 0,87$	1,39

Результуючими у статистичному розрахунку точності аналізу є значення величини точності (рис. 5).

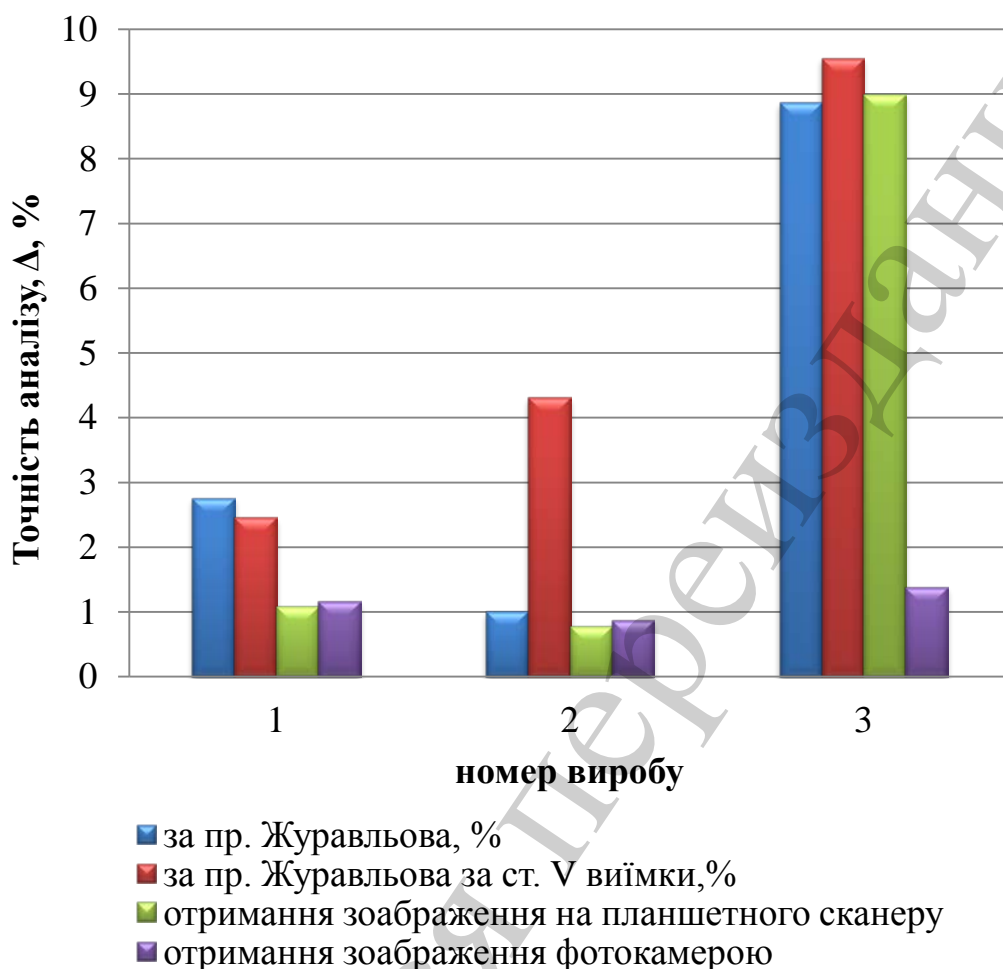


Рис. 5. Точність аналізу визначення пористості хлібобулочних виробів:
1 – батон, 2 – хліб пшеничний, 3 – хліб український

Згідно із представленими даними, чітко видно відхилення точності дослідження при використанні стандартного об'єму виїмки – для хліба пшеничного.

При порівнянні запропонованого методу із обробкою цифрового зображення однозначно кращим варіантом є отримання зображення планшетним сканером. Навіть найнижче значення точності аналізу для хліба українського зумовлено не відтворюваністю даної методики з отриманням цифрового зображення фотографуванням камерою для хлібобулочних виробів із суміші житньо-пшеничного борошна.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Перевагами запропонованого методу є:

- виключення операції зважування;
- виключення використання додаткового обладнання;
- дає можливість здійснювати автодокументування результатів аналізу.

Weaknesses. До недоліків запропонованого методу слід віднести наявність у робітників навичок роботи з комп'ютером та офісною технікою.

Opportunities. Перспективою використання запропонованого методу є визначення пористості дрібноштучних хлібобулочних та борошняних кондитерських виробів.

Threats. Застосування запропонованого способу вимагатиме від підприємств проведення попередніх досліджень із встановлення поправочних коефіцієнтів для відповідної продукції.

8. Висновки

1. Проведена апробація методики для визначення пористості хлібобулочних виробів з борошна пшеничного вищого і першого ґатунків та із суміші житньо-пшеничного борошна при паралельному вимірюванні пористості цих виробів стандартною методикою. В результаті підтверджено, що методика може бути використана для вимірювання пористості хлібобулочних виробів із нормованим показником за попереднього встановлення поправочного коефіцієнту. У випадку кондитерських виробів слід керуватись вимірною величиною пористості запропонованим методом, оскільки відсутні методи визначення істинного значення цієї величини.

2. Експериментально знайдені поправочні коефіцієнти для визначення пористості. Так, за співвідношенням встановлених величин пористості стандартною методикою та запропонованою для хліба із пшеничного борошна вищого ґатунку поправочний коефіцієнт становить – 1,71, із пшеничного борошна першого ґатунку – 1,44 та із суміші житньо-пшеничного борошна – 0,61. Наступне вимірювання пористості зазначеної продукції вимагає множення поправочного коефіцієнта на визначену величини пористості за аналізом цифрового зображення зрізу виробу.

References

1. The effect of improver on dough rheology and bread properties / Horvat D. et al. // 4th International Congress Flour – bread '07. 6th Croatian Congress of Cereal Technologists. Opatija, 2007. P. 37–42.
2. Microstructure, textural and sensorial properties of durum wheat bread as affected by yeast content / Lampignano V. et al. // Food Research International. 2013. Vol. 50, No. 1. P. 369–376. doi:[10.1016/j.foodres.2012.10.030](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.10.030)
3. Ferreira T., Rasband W. ImageJ User Guide: IJ 1.42r. 2012. 185 p.
4. Metody opredeleniya fiziko-khimicheskikh pokazateley kachestva khleba: poristost' // Khlibopekarska i kondyterska promyslovist Ukrainy. 2010. Vol. 9 (70). P. 16–17.
5. Sposib vyznachennia zahalnoi porystosti khlibobulochnykh i biskvitnykh vyrobiv: Patent No. 43027 UA, MPK A21D13/08 / Safonova O. M., Chudik Yu. V., Zakharenko V. O. Appl. No. 2000127262. Filed: 18.12.2000. Published: 15.11.2001, Bul. No. 10.
6. Tuomisto C. The Effects of Alpha-amylase, Ascorbic Acid and Low Pressure during Mixing on the Texture of Bread Crumb. Image Analysis and

Measurements of Physical Texture. Technology, Food Processing and Biotechnology, 2013. 47 p.

7. High resolution pore size analysis in metallic powders by X-ray tomography / Heim K. et al. // Case Studies in Nondestructive Testing and Evaluation. 2016. Vol. 6. P. 45–52. doi:[10.1016/j.csndt.2016.09.002](https://doi.org/10.1016/j.csndt.2016.09.002)

8. Scanning electron microscopy and swelling test of shrimp shell chitosan and chitosan–RGD scaffolds / Mandacan M. C. et al. // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 884. doi:[10.1088/1742-6596/884/1/012047](https://doi.org/10.1088/1742-6596/884/1/012047)

9. Quantitative analysis of cheese microstructure using SEM imagery / Impoco G. et al. // Minisymposium: Image Analysis Methods for Industrial Application. Communications of the SIMAI. 2006. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.619.5750&rep=rep1&type=pdf>

10. Perspektivy skanerometrii v otsenke poristosti gubchatykh izdeliy / Savvin P. N. et al. // Trudy BGTU. Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshhestv i biotekhnologiya. 2014. Vol. 4 (168). P. 81–83.

11. Konyukhov A. L. Rukovodstvo k ispol'zovaniyu programmnoy kompleksa ImageJ dlya obrabotki izobrazheniy: handbook. Tomsk: TUSUR, 2012. 105 p.

12. Kostin V. N., Tishina N. A. Statisticheskie metody i modeli: handbook. Orenburg: GOU OGU, 2004. 138 p.